

STUDI EKSPERIMENTAL SAMBUNGAN BAMBU SEJAJAR SERAT DENGAN *FIBRE-REINFORCED POLYMER* (FRP)

Hendrian Budi Bagus Kuncoro, S.T., M.Eng.

Dosen Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon - Banten, INDONESIA
hendrianbudibk@untirta.ac.id

Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D

Associate Professor, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

ali.awaludin@ugm.ac.id

Dr. -Ing. Ir. Andreas Triwiyono

Associate Professor, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

ahdreactri@yahoo.com

ABSTRAK

Sambungan merupakan bagian terpenting pada struktur. Beberapa jenis sambungan pada bambu yaitu dengan baut, pasak bambu, tali ijuk, serta pelat buhul baja dengan pengisi mortar dan kayu. Andriani (2014) telah melakukan penelitian tentang kekuatan sambungan dengan alat sambung berupa *Fibre Reinforced Polymer* (FRP) dan perekat *epoxy resin*, ternyata kekuatan yang dihasilkan lebih tinggi.

Pada penelitian ini digunakan tipe sambungan dua bidang geser dengan metode serta jumlah lapis lilitan FRP. Bambu wulung disambung secara sederhana sejajar serat (SS) dengan memiliki dua metode lilitan dan jumlah lapis lilitan yang berbeda. Dimensi FRP disesuaikan dengan ukuran bambu dan metode lilitan yang digunakan. Pengujian sambungan dilakukan dengan pembebanan secara kuasi-statik monotonik.

Dari penelitian diperoleh hasil bahwa sambungan sejajar serat dengan dua lapis lilitan FRP pada berbagai metode memiliki nilai kekuatan lebih besar $\pm 1,25 - 1,51$ kali dibandingkan sambungan dengan satu lapis lilitan. Secara keseluruhan sambungan dengan FRP bersifat tidak daktail. Kekakuan sambungan sejajar serat dengan dua lapis lilitan FRP lebih besar $\pm 1,13$ kali dibandingkan sambungan dengan satu lapis lilitan. Metode lilitan dengan ukuran luas bidang kontak besar lebih kuat dibandingkan dengan luas bidang kontak sedikit yaitu bervariasi antara 50,22 % - 82,62 %. Sehingga luasan *bonding* FRP memberikan pengaruh terhadap kekuatan serta kekakuan pada sambungan.

Kata kunci: eksperimental, wulung, sambungan geser, sejajar serat, *Fibre Reinforced Polymer*, metode lilitan FRP

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sambungan merupakan bagian terpenting pada struktur. Beberapa jenis sambungan pada bambu yaitu dengan baut, pasak bambu, tali ijuk, serta pelat buhul baja dengan pengisi mortar dan kayu. Andriani (2014) telah melakukan penelitian tentang kekuatan sambungan dengan alat sambung berupa *Fibre Reinforced Polymer* (FRP) dan perekat *epoxy resin*, ternyata kekuatan yang dihasilkan lebih tinggi. Pada penelitian terbaru ini ditekankan pada pengaruh penggunaan metode lilitan serta jumlah lilitan FRP terhadap kekuatan tahanan lateral sambungan. Spesimen dibuat dengan variasi pada metode lilitan dan jumlah lilitan. Dengan hipotesis bahwa kekuatan tahanan lateral suatu sistem sambungan bambu dengan FRP tidak dipengaruhi oleh jumlah lilitan melainkan dipengaruhi oleh metode lilitan serta luas bidang lekat FRP pada sambungan. Spesimen diberi beban secara kuasi statik monototonik sampai terjadi kegagalan.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan mengasumsikan metode lilitan serta jumlah lilitan FRP agar dapat menaikkan kekuatan sambungan serta melihat model kegagalan sambungan yang terjadi. Dari model kegagalan dianalisa kekuatan sambungan akibat pengaruh luas *bonding* FRP terhadap bambu.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- Menentukan nilai kuat lekat (*bonding*) FRP terhadap bambu.
- Menentukan kekuatan tahanan lateral sambungan yang bergantung pada *bonding* FRP serta luas bidang lekat FRP dengan formulasi $P = \tau \times A$.
- Menghasilkan perbandingan kekuatan sambungan terhadap dua macam metode lilitan menurut jumlah lilitan FRP.
- Mengetahui model kegagalan sambungan dengan menggunakan FRP kemudian dihubungkan dengan pengaruh *bonding* FRP terhadap bambu sehingga dapat diprediksi kekuatan tahanan lateral sambungan bambu dengan FRP.

1.4 Batasan Masalah

Bambu Wulung yang telah diawetkan dengan diameter bambu $\pm 80 - 95$ mm. Alat sambung yang digunakan yaitu *Fibre – Reinforced Polymer* (Tyfo SHE – 51A) dan perekat *epoxy* (Tyfo S). Tidak dilakukan pengujian material terhadap bambu dan alat sambung. Pengujian dilakukan pada struktur sambungan sederhana sejajar serat tanpa baut dengan pembebanan secara kuasi – statik monotonik. Tahanan lateral FRP pada sambungan ini dihitung berdasarkan kekuatan *bonding* FRP berdasarkan hasil eksperimen.

1.5 Manfaat Penelitian

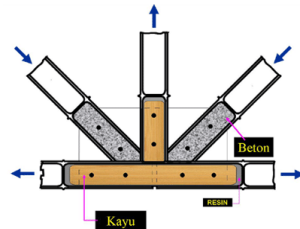
Untuk mengetahui besar kekuatan tahanan lateral sambungan bambu dengan menggunakan FRP serta mengetahui model kegagalan sambungan, sehingga FRP diharapkan dapat dijadikan pilihan pengganti dari alat sambung lain.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Berhubungan

2.1.1 Morisco dan Mardjono, 1996

Morisco dan Mardjono menggunakan bambu Wulung diameter ± 7 cm dengan alat sambung berupa baut dan pelat baja di setiap buhulnya serta menambahkan bahan pengisi kayu dan mortar. Hasil penelitian menunjukan bahwa kekuatan sambungan mencapai 4 ton dalam model kuda – kuda bentang 6 m. Kendalanya sambungan bambu menjadi lebih berat karena bahan pengisi dan pelat baja sehingga kurang menguntungkan dan biaya pelat buhul menjadi lebih mahal dari bambu sehingga tidak ekonomis.



Gambar 2.1 Sambungan Bambu dengan baut dan Pengisi Mortar Serta Kayu (Morisco & Mardjono, 1996)



Gambar 2.2 Pengujian Sambungan bentang 6 m (Morisco & Mardjono, 1996)

2.1.2 Huang dkk, 2012

Bambu Mao Zhu diameter 60 – 80 mm dan tebal dinding 5 – 8 mm dililit dengan bahan *Carbon Fiber Polymer Reinforced* (CFRP) dengan lebar 5 cm kemudian diuji tekan (Gambar 2.3) dan lentur (Gambar 2.4). Dengan metode penguat tersebut kuat tekan dan lentur tarik bambu dapat ditingkatkan lebih dari 25 % dan 52 % dibandingkan dengan bambu tanpa perkuatan CFRP.



Gambar 2.3 Model Pengujian Tekan Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan CFRP (Huang dkk, 2012)



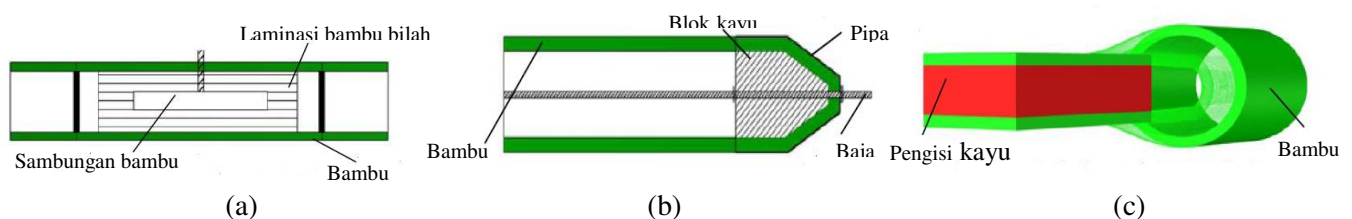
Gambar 2.4 Model Pengujian Lentur Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan CFRP (Huang dkk, 2012)

2.1.3 Inoue, et. al, 2004; Bachthiar, 2012; Ohta, et. al. 2012

Pada metode Inoue, et. al, bambu diisi dengan laminasi bambu bilah yang digunakan sebagai pengganti semen mortar dengan konektor berupa bambu pula.

Pada model Bachthiar, Sambungan bambu yang pada bagian ujung bambu diberikan tabung baja dengan rancangan khusus dan melekat pada masing-masing ujung bambu. Sejajar dengan sumbu longitudinal dari bambu. Satu batang baja yang dipasang didalam tabung baja dimana kapasitas gaya aksial tergantung pada kekuatan garis perekat antara blok kayu dan bambu yang tertutup oleh tabung.

Metode Ohta, et. al dilakukan yaitu dengan membuang sebagian bambu dan diratakan dan ditekan secara bersamaan dengan *spacer* kayu kemudian sisi bambu yang tersisa dibagian dalamnya diberi material pengisi berupa kayu. Dalam proses perekatan antara *spacer* kayu dan bagian-bagian bambu, kulit bambu bagian dalam telah dibuang sebelumnya dan *resin fenol-resorsinol* perekat digunakan dengan aplikasi panas. Berikut contoh jenis sample sambungan :



Gambar 2.5 Metode sambungan (a) Inoue, et. al, 2004; (b) Bachthiar, 2012; (c) Ohta, 2012

2.1.4 Andriani, 2014

Bambu Wulung dengan sambungan baut, tali ijuk, dan *Fibre-Reinforced Plastic* (FRP) secara sejajar serat dan tegak lurus serat dengan panjang bambu 70 cm. Berikut variasi sambungan Andriani (Gambar 2.6) :

a. Sambungan sejajar serat dengan baut

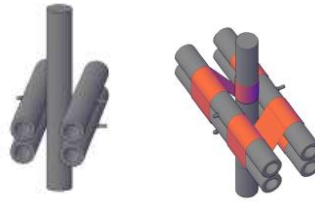
Terdiri dari tiga bambu 70 cm disusun seperti gambar – gambar berikut :



Gambar 2.6 Sambungan Sejajar Serat dengan (a) baut; (b) FRP; (c) ijuk; (d) FRP dan baut (Andriani, 2014)

b. Sambungan tegak lurus serat dengan baut

Terdiri dari lima batang bambu 70 cm. Satu batang berada ditengah keempat batang lainnya yang sejajar sehingga saling tegak lurus. Bagian tengah batang bambu di bor dengan diameter 12 mm seperti pada Gambar 2.7.



(a) (b)

Gambar 2.7 Sambungan Tegak Lurus Serat dengan (a) baut; (b) FRP dan baut (Andriani, 2014)

Kemudian pengujian dilakukan terhadap sambungan seperti pada Gambar 2.8.



(a) (b)

Gambar 2.8 Pengujian Model : (a) Sejajar Serat dan (b) Tegak Lurus Serat (Andriani, 2014)

Hasil kekuatan maksimum sambungan sejajar serat dengan FRP saja sebesar 43,73 kN, kekakuan sebesar 5,11 kN/mm dan daktilitas 1,13. Sedangkan kekuatan maksimum pada model sambungan tegak lurus serat 10,73 kN, kekakuan 2,50 kN/mm dan daktilitas 5,37.

2.2 Sifat Mekanik Bambu

Sifat mekanik bambu dapat diketahui dari pengujian lentur, geser, dan tarik. Secara teoritis sifat – sifat mekanika bambu tergantung pada (Frick, 2004) :

- Jenis bambu dan umur bambu,
- Kandungan kadar air,
- Bagian bambu yang digunakan,
- Letak dan jarak ruas bamboo.

2.2.1 Kuat Tumpu

Kuat tumpu adalah sifat mekanik bambu yang menentukan besar kekuatan sambungan. Awaludin (2012) telah melakukan penelitian tentang kuat tumpu bambu wulung dengan metode ASTM D5764.

Tabel 2.1 Kuat Tumpu Bambu Wulung (Awaludin, 2012)

Nama Group	Bambu Wulung	
	$F_{e5\%}$ (MPa)	$F_{e\max}$ (MPa)
A	27,15 – 39,17	40,49 – 45,88
B	28,38 – 41,22	34,83 – 49,36
C	32,24 – 38,94	37,93 – 43,26
D	35,43 – 40,00	36,06 – 42,63

Keterangan :

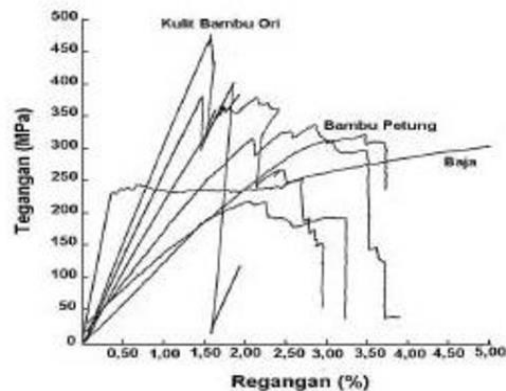
- A = Ø12,2 mm tanpa lubang penuntun
- B = Ø15,6 mm tanpa lubang penuntun
- Lubang penuntun adalah lubang yang dibuat untuk memodelkan keadaan asli dari geometri sambungan.
- C = Ø12,2 mm dengan lubang penuntun
- D = Ø15,6 mm dengan lubang penuntun

2.2.2 Kuat Geser

Kekuatan bambu untuk menahan gaya yang membuat bagian bambu bergeser dari bagian lain didekatnya. Di Indonesia kekuatan geser yang diizinkan sejajar serat adalah 2.45 N/mm^2 . (Frick, 2004)

2.2.3 Kuat Tarik Serat

Kekuatan bambu dalam menahan gaya yang menyebabkan bambu itu terlepas satu sama lain. Kuat tarik bambu dibedakan menjadi dua yaitu kuat tarik sejajar serat dan kuat tarik tegak lurus serat. Morisco (1990) melakukan penelitian kuat tarik bambu ori, petung dan baja, didapatkan hasil seperti pada Gambar 2.9 (Morisco, 1990).



Gambar 2.9 Diagram Tegangan – Regangan Bambu dan Baja (Morisco, 1990)

Di Indonesia tegangan tarik yang diizinkan sejajar serat adalah 29.4 N/mm^2 . (Frick, 2004).

2.3 Fibre-Reinforced Polymer (FRP)

2.3.1 Deskripsi Umum FRP

Fibre-Reinforced Polymer adalah material komposit yang terbuat dari bahan polimer matriks yang diperkuat dengan serat kaca, karbon atau aramid, dengan polimer *epoxy resin* berkualitas tinggi. Terdapat tiga jenis tipe sistem *Fibrwrap* yaitu antara lain:

- Tyfo SEH E-Glass Composite Systems*
- Tyfo SCH Carbon Composite Systems*
- Tyfo SAH Aramid Composite Systems*

FRP yang digunakan pada penelitian ini adalah *Tyfo SEH-51A* dan *Tyfo S* dengan spesifikasi kuat tarik ultimate sebesar 575 MPa, regangan saat putus 2,2%, dan modulus tarik 25,1 GPa. Berikut FRP yang digunakan pada penelitian ini (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 *Fibre Reinforced Polymer* Tipe Tyfo SEH-51A (Andriani, 2014)

2.3.2 Kegunaan Fibre Reinforced Polymer (FRP) pada Kontruksi

FRP dimanfaatkan sebagai perlindungan dan perkuatanan struktur yang telah kehilangan kekuatan.

2.3.3 Kelebihan *Fibre Reinforced Polymer*

FRP mudah diaplikasikan dan tidak bersifat merusak bagian struktural. Hanya dibalut atau dilapisi dan dengan menggunakan bahan tambahan berupa perekat dan tanpa memerlukan alat – alat bantu khusus yang cukup berat. FRP cukup ringan namun memiliki *mechanical strength* yang tinggi, dimana bahan tersebut kuat dan kaku. Dapat dipasang ada daerah kering maupun basah. FRP ini dapat dikombinasikan dengan *coating* yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

3 LANDASAN TEORI

3.1 Kuat lekat *Fibre Reinforced Polymer* (FRP) terhadap bambu

Kemampuan kekuatan FRP bergantung pada lekatan luas bidang kontak bambu. Luas bidang kontak pada bambu disesuaikan dengan keliling penampang melintang dikalikan lebar lilitan. Mendapatkan persamaan seperti dibawah ini :

$$\tau = \frac{P}{Ld.x}$$

dimana :

P = Beban (N)

Ld = Lebar *Fibre Reinforced Polymer* (mm)

x = panjang lekatan FRP terhadap bambu (mm)

τ = Kuat Lekat antara Bambu dengan *Fibre Reinforced Polymer* (MPa)

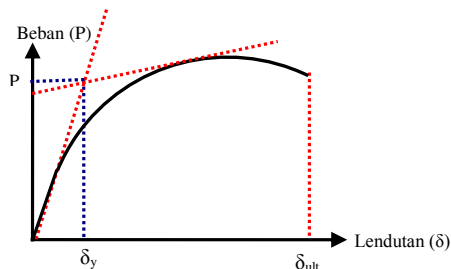
3.2 Sambungan Bambu dengan *Fibre Reinforced Polymer*

Tahanan lateral pada sambungan FRP ini tergantung pada besarnya *bonding* FRP pada bambu, namun dalam penelitian ini besaran *bonding* FRP diambil dari hasil pengujian keseluruhan sebagai penyederhanaan dalam penentuan tahanan lateral FRP. Tahanan lateral dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P = \tau \times (Ld . x)$$

3.4 Daktilitas dan Kekakuan Sambungan

Nilai daktilitas didapatkan dari perbandingan antara lendutan Ultimit (δ_{ult}) dengan lendutan leleh (δ_y). Lendutan leleh didapatkan dengan metode *bi-linier*. Metode *bi-linier* adalah metode mencari titik leleh pada grafik.



Gambar 3.1 Metode Penentuan Daktilitas Sambungan Persamaan daktilitas dari grafik diatas :

$$Daktilitas = \frac{\delta_{ultimate}}{\delta_{yield}}$$

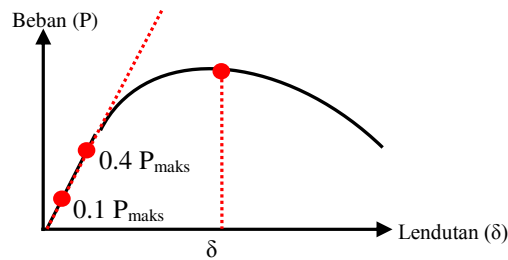
dimana :

δ_{yield} = lendutan pada saat sambungan leleh

$\delta_{ultimate}$ = lendutan pada saat sambungan gagal

Menurut Grace, 2011 (dalam Andriani, 2014) menyebutkan bahwa suatu struktur dikatakan daktail apabila memiliki nilai daktilitas sama dengan 4 (empat).

Nilai kekakuan didapat dengan pencarian sudut kemiringan dari perbandingan antara lendutan yaitu pada kemiringan grafik $0.1 P_{maks}$ dengan $0.4 P_{maks}$ (EN 408-2003).



Gambar 3.2 Metode Penentuan Kekakuan Sambungan

Persamaan kekakuan dari grafik diatas :

$$K = \frac{P_{0,4Pmaks} - P_{0,1Pmaks}}{\delta_{0,4Pmaks} - \delta_{0,1Pmaks}}$$

dimana :

$P_{0,4Pmaks}$ = 40% beban maksimum ; $\delta_{0,4Pmaks}$ = lendutan saat 40% beban maksimum

$P_{0,1Pmaks}$ = 10% beban maksimum ; $\delta_{0,1Pmaks}$ = lendutan saat 10% beban maksimum

4 METODE PENELITIAN

4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan :

4.1.1 Bambu

Bambu wulung seperti yang terlihat pada Gambar 4.1, dibuat dengan ukuran panjang 70 cm dan yang terletak dibagian tengah batang dengan alasan keseragaman diameter, bambu telah melalui masa pengawetan dan tanpa pengujian material awal. Bambu tersebut disimpan di laboratorium sebelum digunakan. Data Material Bambu (Awaludin, 2012) pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Material Bambu (Awaludin, 2012)

Jenis pengujian	Nilai
Kuat Tumpu MPa	41,02



Gambar 4.1 Bambu Wulung

4.2 Alat Sambung

4.2.1 Fibre-Reinforced Polymer (FRP)

FRP yang digunakan pada penelitian yaitu jenis Tyfo SEH-51A dengan menggunakan serat terbuat dari E-Glass. Variasi FRP pada jumlah lilitan yaitu satu dan dua lilitan.



Gambar 4.2 *Fibre Reinforced Polymer (FRP) Tyfo SEH-51A*

4.2.2 Perekat *Epoxy*

Perekat yang digunakan adalah *epoxy*, dimana *epoxy* memiliki kandungan *resin* dan *hardener* yang terserap oleh FRP dan memiliki daya ikat yang cukup kuat.



Gambar 4.3 *Epoxy Resin Tyfo S*

4.3 Peralatan Penelitian

- Alat potong dan gerinda
- Kaliper dengan tingkat ketelitian 0,05
- LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*), dua buah LVDT dengan panjang jarum 5 cm
- Load Cell* dengan kapasitas 10 ton
- Hydraulic Jack* dengan kapasitas 20 ton
- Data Logger* dengan tiga channel aktif (*load cell*, LVDT pertama dan LVDT kedua)

4.4 Rencana Penelitian

Langkah penelitian secara umum sebagai berikut :

- Bambu, FRP, *epoxy resin*, dan baut dipersiapkan.
- Bambu dipotong dengan ukuran 70 cm dihaluskan bagian nodianya, setelah itu permukaan bambu yang akan dilapisi FRP dibuat kasar.
- Spesiemen dibuat sesuai dengan metode dan lilitan FRP yang direncanakan, terdiri dari sambungan sejajar serat. Total keseluruhan spesiemen yaitu 12 buah spesiemen sambungan.
- Setting up* pengujian dipersiapkan dilengkapi dengan peralatan yang dibutuhkan seperti LVDT, *data logger*, dan *hydraulic jack*.
- Kemudian dilakukan pengujian geser pada spesiemen sampai menunjukan kegagalan.
- Hasil pengujian berupa data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai beban maksimum, daktilitas, dan kekakuan sambungan.
- Dengan melihat model kegagalan yang terjadi maka kuat lekat FRP pada bambu dihitung berdasarkan luas bidang kontak dan beban yang mampu di tahan oleh sambungan.
- Setelah nilai kuat lekat didapatkan maka tahanan lateral sambungan dapat diperhitungkan.

4.5 Pelaksanaa Penelitian

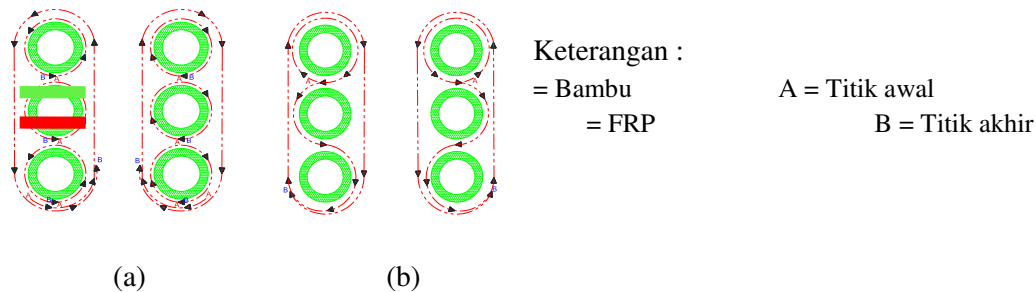
4.5.1 Persiapan Bahan Bambu dan Perekat *Epoxy Resin*

Bambu dipotong dengan panjang 70 cm kemudian Pembuatan perekat *epoxy resin* terdiri dari dua komponen, yaitu komponen A (*resin*) dan komponen B (*hardener*), dicampur dengan perbandingan 2:1.

4.5.2 Pembuatan Spesimen Sambungan Bambu

a. Metode balutan sejajar serat (SS-01 dan SS02)

Tiga batang bambu panjang 70 cm dan dililitkan FRP sesuai dengan pola seperti Gambar 4.4, berawal dari titik A dan berakhir di titik B.



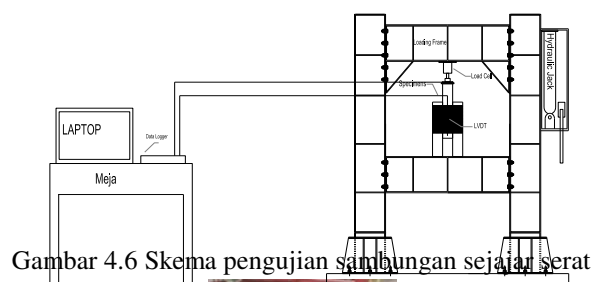
Gambar 4.4 Metode balutan FRP sejajar serat (a) SS01 dan (b) SS02



Gambar 4.5 Spesimen Sejajar Serat

4.6 Skema Pelaksanaan Pengujian Spesimen

Pada pengujian ini spesimen diletakkan pada *loading frame* yang kemudian memasang *load cell* pada bagian atas spesimen yang terhubung pada *hydraulic jack*, LVDT dipasang pada bagian sisi terdekat dari sambungan. LVDT dihubungkan ke data logger yang kemudian terbaca pada laptop. Seperti Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Set up pengujian sambungan sejajar serat

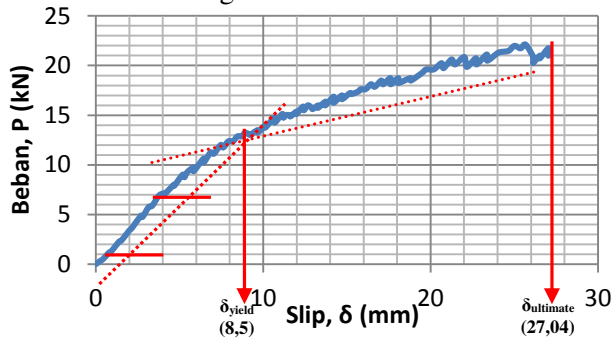
5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Kuat tumpu bambu Wulung (Awaludin, 2012) didapatkan nilai 41,02 MPa.

5.1.1 Hasil Pengujian Geser Sambungan

a. Daktilitas sambungan bambu



Gambar 5.1 Penentuan Daktilitas Sambungan Sejajar Serat (SS01-1L-A)

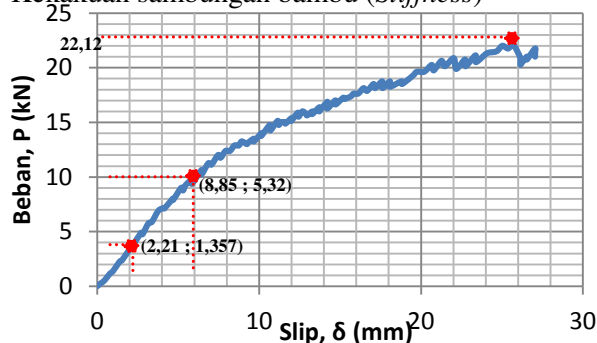
Contoh cara menentukan perhitungan daktilitas :

$$\delta_{yield} = 8,5 \text{ mm} \quad \delta_{ultimate} = 27,04 \text{ mm}$$

$$Daktilitas = \frac{\delta_{ultimate}}{\delta_{yield}} = \frac{27,04}{8,5} = 3,19$$

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan.

b. Kekakuan sambungan bambu (*Stiffness*)



Gambar 5.2 Penentuan Kekakuan Sambungan Sejajar Serat (SS01-1L-A)

Contoh perhitungan kekakuan, K :

$$P_{maks} = 22,125 \text{ kN}$$

$$P_{0,1P_{maks}} = 2,21 \text{ Kn} \quad P_{0,4P_{maks}} = 8,85 \text{ kN}$$

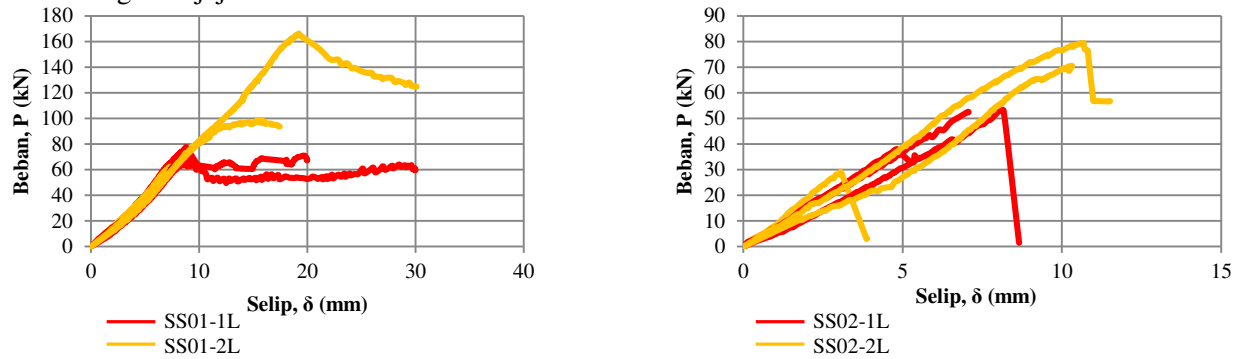
$$\delta_{0,1P_{maks}} = 1,357 \text{ mm} \quad \delta_{0,4P_{maks}} = 5,32 \text{ mm}$$

$$K = \frac{P_{0,4P_{maks}} - P_{0,1P_{maks}}}{\delta_{0,4P_{maks}} - \delta_{0,1P_{maks}}} = \frac{8,85 - 2,21}{5,32 - 1,357} = 1,675 \text{ kN/mm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya ditabelkan.

Berikut perhitungan hasil pengujian pada tiap-tiap model sambungan yang disajikan dalam bentuk grafik dan tabel.

1) Sambungan Sejajar Serat



Gambar 5.3 Grafik Perbandingan (a) SS01 dan (b) SS02

Dari grafik tersebut diatas didapatkan nilai daktilitas dan kekakuan sambungan seperti pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian SS01 dan SS02

Metode	Benda uji	Kekuatan maksimum, P_{maks} (kN)	Daktilitas sambungan	Kekakuan, K (kN/mm)
SS01-1L	A	77,50	1,41	7,65
	B	70,88	1,03	6,55
	C	67,75	3,15	6,95
	Rerata	72,04	1,86	7,05
SS01-2L	A	62,38	1,11	7,81
	B	16,38	1,57	8,52
	C	98,38	1,13	7,61
	Rerata	109,04	1,27	7,98
SS02-1L	A	38,13	1,14	8,17
	B	52,63	1,05	7,25
	C	53,13	1,08	6,48
	Rerata	47,96	1,09	7,30
SS02-2L	A	29,13	1,28	8,56
	B	79,50	1,10	7,62
	C	70,50	1,00	5,24
	Rerata	59,71	1,12	7,14

5.1.2 Ragam Kegagalan Sambungan

a. Perhitungan kuat lekat FRP terhadap bambu (τ) :

Contoh perhitungan kuat lekat SS01-1L-A

$$\tau = \frac{P}{Ld \cdot x}$$

$$P = 77,5 \text{ kN} = 77.500 \text{ N}$$

$$Ld = 100 \text{ mm}$$

$$x = 298,45 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{77.500}{2(100 \times 298,45)} = 1,298 \text{ MPa}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan kemudian penentuan kuat lekat dibuat rata-rata (Lampiran). Didapatkan kuat lekat FRP sebesar 0,845 MPa.

b. Perhitungan tahanan lateral sambungan bambu dengan FRP (sejajar serat)

Contoh perhitungan tahanan lateral SS01-1L-A

$$P = \tau \times (Ld \cdot x)$$

$$\tau = 0,845 \text{ MPa}$$

$$Ld = 100 \text{ mm}$$

$$x = 298,45 \text{ mm}$$

$$P = 0,845 \times 2(100 \times 298,45) = 50460,11 \text{ N} = 50,46 \text{ KN}$$

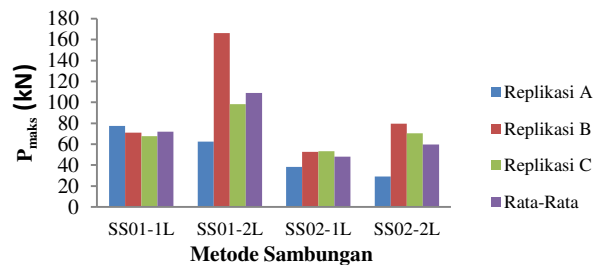
Tabel 5.2 Tahanan lateral sambungan sejajar serat dengan FRP secara Analisis

Spesimen	$\tau_{\text{rata-rata}}$ (Mpa)	Luas Bidang Lekat (mm^2)	P_{maks} Analisis (N)	P_{maks} Analisis Rata-rata (kN)
	2	3	$4 = 3 \times 2$	$5 = (\Sigma 4 : \Sigma n) / 1000$
SS01-1L-A	0,845	59690,26	50460,11	58,40
SS01-1L-B		38536,87	32577,75	
SS01-1L-C		58852,50	49751,90	
SS01-2L-A		21153,39	17882,36	
SS01-2L-B		58433,62	49397,79	
SS01-2L-C		57386,43	48512,53	
SS02-1L-A		71207,89	60196,72	
SS02-1L-B		102199,92	86396,33	
SS02-1L-C		99617,25	84213,03	
SS02-2L-A		72314,75	61132,42	
SS02-2L-B		95558,77	80782,13	
SS02-2L-C		94082,96	79534,53	

5.2 Pembahasan

5.2.1 Perbandingan Nilai P_{maks} pada Sambungan

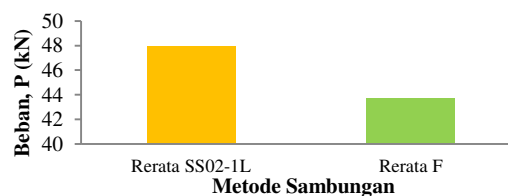
1) Perbandingan P_{maks} Sambungan sejajar serat



Gambar 5.4 Diagram Perbandingan Nilai P_{maks} Sambungan Sejajar Serat

Pada gambar 5.4 dapat dilihat bahwa berdasarkan jumlah lilitan FRP, kekuatan rata-rata SS01-2L lebih besar daripada SS01-1L yaitu meningkat $\pm 1,5$ kali dan SS02-2L lebih besar daripada SS02-1L meningkat $\pm 1,25$ kali. Hal tersebut dapat disebabkan karena lekatan pada dua lapis lilitan FRP bekerja lebih maksimal untuk menahan geser sambungan dibandingkan dengan lekatan satu lilitan FRP. Berdasarkan metode lilitan, SS01 lebih kuat daripada SS02 karena luasan *bonding* FRP pada metode SS01 lebih besar daripada SS02. Sehingga penggunaan luasan *bonding* FRP memberikan pengaruh terhadap kekuatan sambungan.

2) Perbandingan P_{maks} SS02-1L dengan Penelitian Viki Andrian

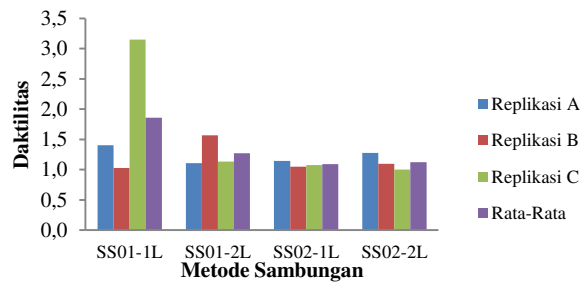


Gambar 5.5 Diagram Perbandingan Nilai P_{maks} Sambungan Terbaru dengan Sebelumnya (Metode dan Jumlah lilitan Sama)

Dilihat dari grafik diatas nilai yang dihasilkan berbeda, hal ini terjadi karena diameter bambu yang digunakan pada penelitian ini lebih besar dari penelitian Andriani (2014), besarnya diameter bambu berakibat pada luas bidang lekat FRP terhadap bambu yang lebih besar pula sehingga kekuatan yang dihasilkan menjadi besar.

5.2.2 Perbandingan Nilai Daktilitas pada Sambungan

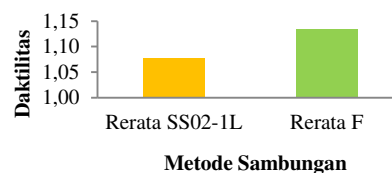
1) Perbandingan faktor daktilitas sambungan sejajar serat



Gambar 5.6 Diagram perbandingan faktor daktilitas sambungan sejajar serat

Menurut Grace, 2011 (dalam Andriani 2014) menyebutkan bahwa suatu struktur dikatakan daktail bila memiliki nilai daktilitas besar dari empat, namun nilai faktor daktilitas pada penelitian kurang dari empat, sehingga sambungan tersebut tidak daktail, karena sifat FRP pada saat pengujian tingkat lelehnya (*yield*) tinggi kemudian tingkat kekuatan ultimate sambungan tinggi pula sehingga saat penentuan nilai daktilitasnya perbandingan ultimate dengan lelehnya cukup dekat dan menghasilkan nilai yang tidak sampai empat.

2) Perbandingan Daktilitas SS02-1L dan TLS-1L dengan Penelitian Viki Andriani

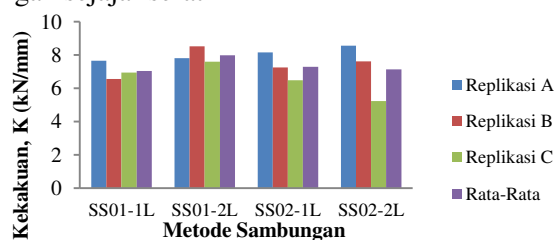


Gambar 5.7 Diagram Perbandingan Nilai Daktilitas Sambungan Terbaru dengan Sebelumnya (Metode dan Jumlah lilitan Sama)

Pada Gambar 5.7 terjadi perbedaan nilai daktilitas, hal ini masih dipengaruhi oleh diameter bambu yang digunakan, yaitu pada penelitian ini lebih besar dari penelitian Andriani (2014) yang menyebabkan kebutuhan FRP semakin banyak dipadu dengan perekat *epoxy* maka membuat sambungan akan semakin getas pula dan menjadikan nilai faktor daktilitas sambungan semakin kecil.

5.2.3 Perbandingan Nilai Kekakuan pada Sambungan

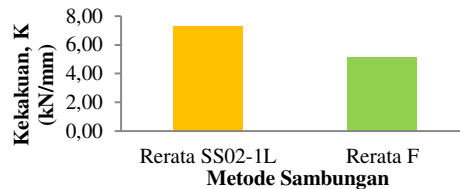
1) Perbandingan kekakuan sambungan sejajar serat



Gambar 5.8 Diagram Perbandingan Kekakuan Sambungan sejajar serat

Nilai kekakuan pada sambungan SS01 dan SS02 berkisar antara 5-8 kN/mm sehingga sambungan sejajar serat bersifat kaku, hal ini disebabkan karena pengaruh bentuk geometri bambu terhadap sambungan yang membuat luas bidang rekat sejajar serat lebih banyak.

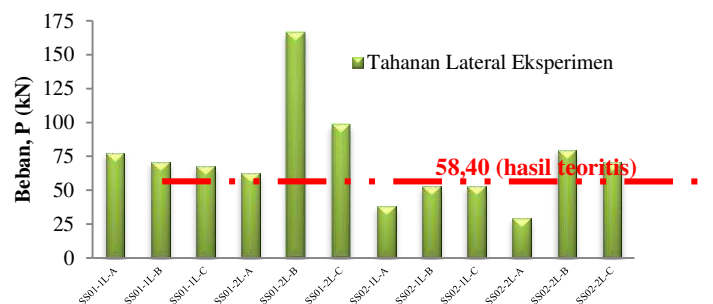
2) Perbandingan Kekakuan SS02-1L dan TLS-1L dengan Penelitian Viki Andriani



Gambar 5.9 Diagram Perbandingan Nilai Kekakuan Sambungan Terbaru dengan Sambungan Sebelumnya (Metode dan Jumlah lilitan Sama)

Peningkatan kekakuan pada sambungan sejajar serat dapat dipengaruhi oleh diameter bambu yang lebih besar mengakibatkan kebutuhan FRP semakin banyak dan membuat sambungan menjadi semakin kaku.

5.2.4 Tahanan Lateral FRP Analisis dengan Eksperimen Sambungan Sejajar Serat



Gambar 5.10 Perbandingan Tahanan Lateral FRP Analisis dengan Eksperimen pada Sambungan Sejajar Serat. Gambar 5.10 terlihat empat spesimen yang memiliki kekuatan dibawah nilai teoritis. Hal ini dapat dikarenakan kinerja FRP yang kurang optimal pada sambungan tersebut dimana daya ikat yang diberikan oleh FRP terhadap bambu pada spesimen lebih kecil dari asumsi luas lekatan FRP secara teoritis sehingga sambungan tersebut tidak mampu menahan beban yang lebih besar lagi.

5.3 Model Kegagalan Sambungan

5.3.1 Sambungan Sejajar Serat

Kegagalan pada sambungan sejajar serat yang terjadi yaitu FRP terlepas dari bambu. Berikut beberapa foto dari hasil pengujian yang menunjukkan kegagalan *debonding* pada FRP (Gambar 5.11)



Gambar 5.11 Kegagalan pada Sambungan Sejajar Serat

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Sambungan dengan dua lilitan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan sambungan dengan satu lilitan dimana kenaikannya sekitar $\pm 1,25 - 1,51$ kali pada berbagai metode. Nilai daktilitas sambungan bambu dengan FRP kurang dari empat pada berbagai metode, sehingga dapat dikatakan sambungan tidak bersifat daktil, dan kekakuan pada sambungan sejajar serat cukup tinggi.
2. Sambungan sejajar serat SS01 lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan SS02. Hal ini dipengaruhi oleh luas *bonding* FRP pada bambu.
3. Model kegagalan dari sambungan sejajar serat terletak pada *bonding* dari FRP.

6.2 Saran

Beberapa saran yang mungkin dapat menjadi masukan bagi peneliti selanjutnya, diantaranya :

1. Selisih diameter luar dan tebal dinding bambu tidak besar.
2. Lebih teliti pada saat pemasangan FRP karena berpengaruh pada *setting up* pengujian.
3. FRP diusahakan berada di ruas antar nodia.
4. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan variasi sudut sambungan dan variasi luas *bonding* FRP.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, V. 2014. Kekuatan Sambungan Bambu Dengan Alat Sambung Baut, Ijuk, Dan *Fibre-Reinforced Plastic*, Universitas Gadjah Mada.
- Awaludin, A and Andriani, V. 2014. *Bolted Bamboo Joints Reinforced With Fibers*, SCESCM.
- Morisco, (1999). *Rekayasa Bambu*, Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Huang, G. Huang, Z. Deng, X. and Jiang, J., 2012. *Experimental Study Carbon Fiber Polymer Reinforced Bamboos*, ASCE
- Frick, H., 2004. Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu, Kanisius, Yogyakarta.
- Awaludin, A., 2012. Kuat Tumpu Bambu Sejajar Serat, *Annual Engineering Seminar 2012*, Universitas Gadjah Mada
- Awaludin, A. 2012. Aplikasi EYM Model Pada Analisis Tahanan Lateral Sambungan Sistem Morisco-Mardjono: Sambungan Tiga Komponen Bambu dengan Material Pengisi Rongga.
- Adicandra, K. Budi, A.S. and Safitri, E. 2014. Kajian Kuat Lekat Tulangan Bambu Wulung Bertakikan Tipe “V” Sejajar Dan Tidak Sejajar Dengan Jarak Takikan 6 Cm dan 7 Cm Pada Beton Normal. e-Jurnal Matriks Teknik Sipil Vol.2 No.2.
- Petrus, W. and Akristin, E.S. 2014. Evaluation, Selection And Acceptance Criteria For Using FRP System For Strengthening Reinforced Concrete And Masonry Structure. Seminar Umum PT. Fyfe Fibrwrap Indonesia di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- NEN-EN 408:2003 (en), Nederlandse norm, Timber Structure – structural timber and glue laminated timber – determination of some physical and mechanical properties.
- www.fyfeindonesia.com diakses 22 Oktober 2014
- <https://www.scribd.com/doc/206885045/186227626-Fiber-Reinforced-Plastic>, diakses 25 Oktober 2014